

基于RSSI的室外无线传感网络自定位算法

金卫民¹, 神显豪²

(1. 绍兴文理学院工学院, 绍兴 312000; 2. 北京理工大学机电工程与控制国防重点实验室, 北京 100081)

摘要: 针对室外无线传感网络的节点自定位问题, 对野外环境无线电传播路径损耗模型进行分析, 提出加权质心定位算法, 并结合优选信标节点的规则进一步提高了节点定位精度。加权质心定位算法计算简单, 定位过程中节点间通信开销小, 定位精度较极大似然估计法高, 仿真结果表明其基本满足应用要求。

关键词: 无线传感网络; 节点自定位; 信标节点

Outdoor Wireless Sensor Network Self-localization Algorithm Based on RSSI

JIN Wei-min¹, SHEN Xian-hao²

(1. Engineering Institute, Shaoxing College of Arts and Sciences, Shaoxing 312000; 2. Key Lab of National Defense Mechanics and Electrics Engineering and Controlling Engineering, Beijing Science and Technology University, Beijing 100081)

【Abstract】 Self-localization of nodes is one of the key technologies for application of Wireless Sensor Network(WSN). By analyzing the model of waves propagation in outdoor, this paper provides a weighted centroid localization algorithm. Combined with the rules of selecting fine nodes, it uses weight coefficient to evaluate position accuracy of nodes. This algorithm is simple and no communication is needed while locating and its location accuracy is higher than maximum likelihood estimation. The simulation using Matlab shows that this algorithm basically meets the application's need.

【Key words】 Wireless Sensor Network(WSN); self-localization of nodes; anchor nodes

1 概述

随着微机电系统(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)、通信技术和数字电子技术的成熟与发展, 无线传感器网络的应用得到较大发展, 在国防、农田管理、环境监测等众多领域都有着重大的应用。

在上述应用背景下, 传感器节点往往是被随机布撒或布置到监测区域内, 节点的自定位起到了至关重要的作用。目前, 自定位算法从定位手段上分2大类: 基于测距算法(range-based)和无需测距算法(range-free)^[1]。基于测距算法通过测量节点间的距离或角度信息, 使用三边测量、三角测量或最大似然估计定位法计算节点位置, 常用的测距技术有RSSI, TOA^[2], TDOA和AOA。无需测距定位算法则不需要距离和角度信息, 算法根据网络连通性等信息来实现节点定位^[3]。

2 算法模型

本算法针对大规模随机散布野外应用环境, 传感器中的各节点并不需要很精确的定位, 只需要知道节点的大概位置就可满足需求, 同时要求硬件成本低、定位过程通信开销小、节能。和许多其他定位算法一样, 本算法也是利用信标节点进行传感器节点定位。

2.1 定位计算

在无线传感网络中, 理论上通过未知节点与3个信标节点的欧氏距离就可用三边测量法算出它的位置^[3]。所以, 通过RSSI法测距, 即测出来自3个信标节点的信号强度损耗量来解算出距离。在实际应用环境中, 因为RSSI值会有随机分量, 无法精确计算未知节点位置, 所以可以考虑用质心法和

极大似然估计法来改善定位精度^[4]。定位方法如图1所示。

首先取BC边来考虑, 当一个未知节点A收到信标节点B、C发出的定位信号时, 根据RSSI值和信标B、C的位置, 可以得到 $d_1=L_{AB}$, $d_2=L_{AC}$; 由此得到节点A的2个可能位置 A_1 和 A_2 。而当节点A能收到第3个信标节点D发出的定位信号时, 可以得到 $d_3=L_{AD}$; 通过比较 $|L_{AD}-L_{A1D}|/L_{A1D}$ 与 $|L_{AD}-L_{A2D}|/L_{A2D}$ 的大小就可以确定节点A的近似位置, 即两者中值小的为节点A的近似位置 (X_1, Y_1) 。同样取边BD和边CD, 可以得到A节点的另外2个近似位置 (X_2, Y_2) 和 (X_3, Y_3) 。取这3个点的质心, 可以得到A的近似位置。当节点A收到m个信标节点信号时, 可以构成 C_m^3 个三角形, 每个三角形可产生一个近似的未知节点坐标位置。再次利用质心算法即可求出节点A的最终位置坐标。采用改进Euclidean定位, 可以确定信标节点三角形BCD以外的传感器节点位置。

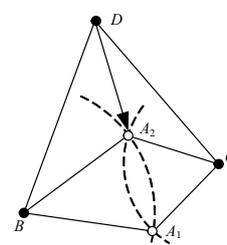


图1 定位方法

2.2 无线电传播路径损耗模型分析

无线电传播路径损耗对于RSSI定位算法的定位精度有很大影响。常用的传播路径损耗模型有^[5]自由空间传播模型(free space propagation model)、对数距离路径损耗模型

作者简介: 金卫民(1964-), 男, 讲师, 主研方向: 计算机程序设计, 工业传感器技术, 无线局域网; 神显豪, 博士研究生

收稿日期: 2008-02-20 **E-mail:** jwm6401@sohu.com

(log-distance path loss model)、哈它模型(Hata model)、对数-常态分布模型(log-distance distribution)等。

文中针对野外应用环境,采用自由空间传播模型和对数-常态分布模型,用于分析和仿真。自由空间无线电传播路径损耗模型如下:

$$Loss=32.44+10\lg d+10\lg f \quad (1)$$

其中, d 为距信源的距离,单位为 km; f 为频率,单位为 MHz; k 为路径衰减因子。

在实际应用环境中,由于多径、绕射、障碍物等因素,无线电传播路径损耗与理论值相比有些变化^[5]。下述对数-常态分布模型将更加合理,节点收到信标信息时的路径损耗为

$$PL(d)=PL(d_0)+10\lg(d/d_0)+X \quad (2)$$

其中, $PL(d)$ 为经过距离 d 后的路径损耗,单位为 dB; $X\sigma$ 为平均值是 0 的高斯分布随机变数,其标准差范围为 4~10; k 的范围在 2~5 之间;取 $d=1$ m。代入式(1),可得到 $Loss$, 即 $PL(d_0)$ 的值。

根据式(2)可得各未知节点接收信标节点信号时的信号强度^[6]为

$$RSSI=\text{发射功率}+\text{天线增益}-\text{路径损耗 } PL(d)$$

图 2 是用对数-常态分布模型绘制的 $RSSI$ 曲线图。可以看出,节点到信号源的距离越近,由 $RSSI$ 值的偏差产生的绝对距离误差越小。而当距离大于 80 m 时,由于式(2)中 $X\sigma$ 的影响,由 $RSSI$ 波动造成的绝对距离误差将会很大。

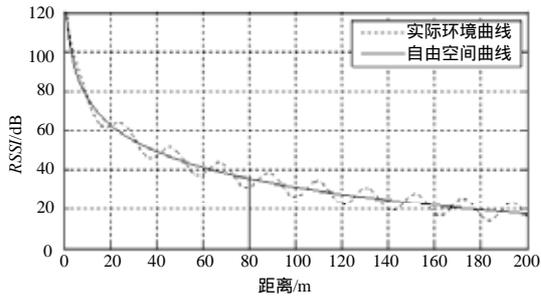


图 2 接收信号强度

基于上面的分析,文中提出信标节点影响力概念,即在定位算法中,信标节点对未知节点位置都有影响力, $RSSI$ 越大的信标节点,影响力越大,对节点位置有更大的决定权。如图 1 所示,未知节点 A 收到了 3 个信标节点的信号,那么节点 A 受到 3 个信标的影响, $RSSI$ 最大的信标节点对 A 的位置有最大的决定权。

信标选择原则:一个未知节点可能收到 n 个信标节点的信号,应当采用 $RSSI$ 值大的前几个信标节点进行定位计算。在保证参与定位计算的信标节点数大于 3 个的情况下,将距离大于 80 m 的信标节点去除,以免造成定位误差扩大。后面进行的仿真计算也证明了这点。

2.3 加权质心定位计算

通过对无线电传播路径损耗模型的分析,可以发现利用普通质心算法,没有反映出信标节点对节点位置影响力的大小,影响了定位精度。

文中设计了加权质心算法,它的基本思想是:在质心算法中,通过加权因子来体现信标节点对质心坐标决定权的大小,利用加权因子体现各信标节点对质心位置的影响程度,反映它们间的内在关系。

通过下式中的加权因子来体现这种约束力:

$$x_i = \frac{\frac{x_1}{d_1+d_2} + \frac{x_2}{d_2+d_3} + \frac{x_3}{d_1+d_3}}{\frac{1}{d_1+d_2} + \frac{1}{d_2+d_3} + \frac{1}{d_1+d_3}} \quad (3)$$

$$y_i = \frac{\frac{y_1}{d_1+d_2} + \frac{y_2}{d_2+d_3} + \frac{y_3}{d_1+d_3}}{\frac{1}{d_1+d_2} + \frac{1}{d_2+d_3} + \frac{1}{d_1+d_3}} \quad (4)$$

其中, (x_i, y_i) 就是用加权质心算法求出的未知节点坐标; d_1, d_2, d_3 为未知节点获得的 3 个信标节点的近似距离(如图 1 所示); $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 为利用改进 Euclidean 定位方法计算出的 3 个未知节点的近似位置;因子 $1/(d_1+d_2), 1/(d_2+d_3), 1/(d_3+d_1)$ 体现了距离未知节点越近的信标节点对其坐标位置的影响力越大。通过这种内在关系的反映来达到提高定位精度的目的。

3 算法过程

基于加权质心算法的无线传感器网络定位过程如下:

- (1) 信标周期性发送自身信息:节点 ID, 自身位置信息。
- (2) 普通节点在收到信息后,只记录同一个信标节点的 $RSSI$ 均值。

(3) 普通节点在收到超过阈值 m 个信标信息后,对信标节点依其 $RSSI$ 值从大到小排序,并建立 $RSSI$ 值与节点到信标节点距离的映射。建立 3 个集合:信标节点集合为 $Beacon-set=\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$;未知节点到信标节点距离集合为 $Distance-set=\{d_1, d_2, \dots, d_m\}, d_1 < d_2 < \dots < d_m$;信标节点位置集合为 $Position-set=\{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_m, Y_m)\}$ 。

- (4) 采用 $RSSI$ 值大的前几个信标节点进行自身定位计算。

1) 在 $Beacon-set$ 中依据前述对无线电传播路径损耗模型的分析结论,优先选择 $RSSI$ 值大的信标节点组合成下面的三角形集合,这是提高定位精度的关键: $Triangle-set=\{(a_1, a_2, a_3), (a_1, a_2, a_4), \dots, (a_1, a_3, a_4), (a_1, a_3, a_5), \dots\}$ 。

2) 对 $Triangle-set$ 中任一个三角形 (a_{ii}, a_{jj}, a_{kk}) , 采用 2.3 节的加权质心计算方法。用式(3)和式(4)求出由信标节点 (a_{ii}, a_{jj}, a_{kk}) 确定未知节点坐标 $k_i(x_{k_i}, y_{k_i})$ 。为方便表达,将 $(d_{(1)(k_i)}, d_{(2)(k_i)}, d_{(3)(k_i)})$ 设为由 $RSSI$ 值得到的信标节点 (a_{ii}, a_{jj}, a_{kk}) 到未知节点的距离。对 $Triangle-set$ 中的每个三角形重复上述计算,可以得到未知节点近似位置坐标集 $\{k_1, k_2, \dots, k_p\}$ 。

- 3) 对近似位置坐标集 $\{k_1, k_2, \dots, k_p\}$ 再次求加权质心 p :

$$x = \frac{\sum_{i=1}^p [x_{k_i} / (d_{(1)(k_i)} + d_{(2)(k_i)} + d_{(3)(k_i)})]}{\sum_{i=1}^p [1 / (d_{(1)(k_i)} + d_{(2)(k_i)} + d_{(3)(k_i)})]} \quad (5)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^p [y_{k_i} / (d_{(1)(k_i)} + d_{(2)(k_i)} + d_{(3)(k_i)})]}{\sum_{i=1}^p [1 / (d_{(1)(k_i)} + d_{(2)(k_i)} + d_{(3)(k_i)})]} \quad (6)$$

其中,坐标 (x, y) 为经过加权质心定位计算后的未知节点坐标。

4 仿真

在 Matlab 平台上,结合 C++ 语言编程,对上述算法进行了计算机仿真。图 3 和图 4 是仿真结果。

仿真条件:信标节点的室外发射半径取 200 m ~ 300 m。 $RSSI$ 值与距离的关系由式(1)和式(2)决定,因为随机散布无线传感网络常常位于室外环境,路径损耗较自由空间大,所以式(1)和式(2)中的衰减因子 k 设为 3.4,高斯分布随机变数 $X\sigma$

的标准差取为 4, 取 d_0 为 1 m。传感器区域为 200 m×200 m, 信标节点和普通节点随机布置于传感器区域。普通节点数为 220 个, 信标节点数目则分 6 种情况: 9, 12, 16, 20, 25, 30 个。仿真采用加权质心算法和极大似然估计法分别进行计算。

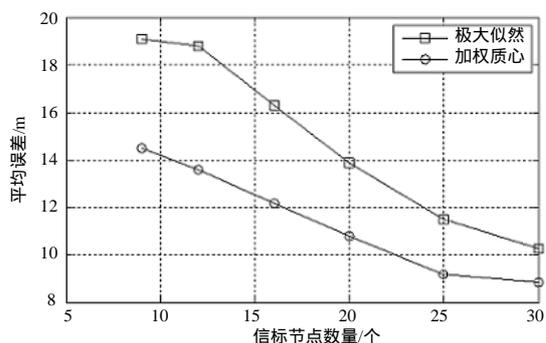


图 3 平均误差

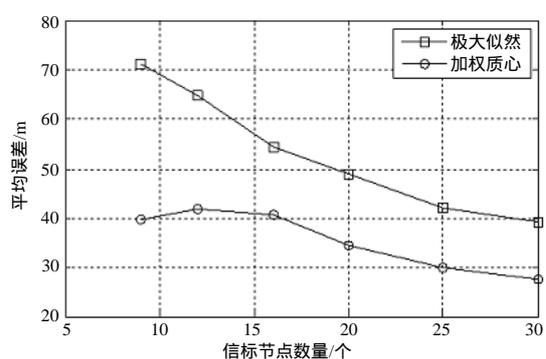


图 4 最大误差

(上接第 88 页)

略, 这些策略均可表示成一个带不同约束条件的最小费用问题。如果域内的拓扑为树状, 复制选址模块可以采用文献[10]提出的 $O(N^2M^3)$ 算法(其中, N 为节点总数, M 为复制节点数), 该算法可以求出最小化总网络延迟的最优解; 如果拓扑不为树状, 则该优化问题为NP-难问题, 故只能采用近似算法。

4 结束语

目前, 基于数据网格技术的高效资源共享及存储管理机制已成为远程教育资源管理的首选平台技术。本文给出的数据网格多选址动态复制策略, 综合考虑了远程教育管理中用户分布地域广、网络延迟差异大等多种因素, 可根据网络状态和用户的动态需求采取不同的复制策略将教育资源进行动态复制并发送到便于用户访问的地理位置, 使得用户可方便、快捷地存取资源, 为远程教育中的资源访问提供了一种切实可行的解决方案。

参考文献

[1] Stockinger H, Samar A, Foster I. File and Object Replication in Data Grids[J]. Journal of Cluster Computing, 2002, 5(3): 305-314.
 [2] Kavitha R, Foster I. Design and Evaluation of Dynamic Replication Strategies for a High-performance Data Grid[C]//Proceedings of International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics. Beijing, China: [s. n.], 2001: 106-118.
 [3] Rashedur R M, Barker K, Alhaji R. Replica Placement in Data Grid: Considering Utility and Risk[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Coding and Computing. [S. l.]: IEEE Press, 2005:

从图 3 和图 4 中可以看出加权质心算法有较好的定位精度, 特别是在信标节点密度较低的情况下, 具有明显优势。

5 结束语

加权质心定位算法采用了具有较大无线发射功率的信标节点, 这样可以减少信标节点数目, 并且对硬件的要求不高, 对信标节点的密度要求也下降了, 具有较好的综合效果。它为不需要节点精确定位的大规模传感器节点网络应用, 提供了一种新的定位方法。

参考文献

[1] Savvides A, Park H, Srivaslava M B. The Bits and Flops of the N-hop Multilateration Primitive for Node Localization Problems[R]. NESL, University of California, Technical Report: TM-UCLA-NESL-2002, 2002.
 [2] 焦磊, 邢建平, 张军. 一种非视距环境下具有鲁棒特性TOA无线传感网络定位算法[J]. 传感技术学报, 2007, 22(7): 1625-1629.
 [3] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc Positioning System(APS) Using AOA[C]//Proc. of IEEE INFOCOM'03. San Francisco, CA, USA: [s. n.], 2003: 3-6.
 [4] 周祖德, 王晟. 一种适用于复杂环境的无线传感定位算法[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(11): 121-124.
 [5] Homayoun N, Homayoun H. Phase Modeling of Indoor Radio Propagation Channels[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2000, 49(2): 220-231.
 [6] Wallace J W, Jensen M A. Modeling the Indoor MIMO Wireless Channel[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2002, 50(5): 594-606.
 [7] Charikar M, Guha S. Improved Combinatorial Algorithms for the Facility Location and k-Median Problems[C]//Proceedings of the 40th Symposium on Foundations of Computer Science. [S. l.]: IEEE Press, 1999: 378-388.
 [8] Lamehamedi H, Shentu Z, Szymanski B. Simulation of Dynamic Data Replication Strategies in Data Grids[C]//Proceedings of the 12th Heterogeneous Computing Workshop. Nice, Franc: [s. n.], 2003.
 [9] Ranganathan K, Iamnitchi A, Foster I. Improving Data Availability through Dynamic Model-driven Replication in Large Peer-to-Peer Communities[C]//Proceedings of the 2nd Symposium on Cluster Computing and the Grid. Berlin, Germany: [s. n.], 2002: 376.
 [10] Feige U. A Threshold of LNN For Approximating Set-cover[J]. Journal of the ACM, 1998, 45(4): 634-652.
 [11] Lili Q, Padmanabhan V N, Voelker G M. On the Placement of Web Server Replicas[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM'01. [S. l.]: IEEE Press, 2001: 1587-1596.
 [12] 何炎祥, 范清风, 张力飞. 网格计算中动态复制策略的设计[J]. 计算机工程, 2004, 30(3): 94-95.
 [13] Li Bo. On the Optimal Placement of Web Proxies in the Internet [C]//Proceedings of the 18th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. [S. l.]: IEEE Press, 1999: 1282-1290.

